METROLOGIA DE VENTILADORES MECÂNICOS

André Ribeiro Dias[1], Fernanda Lopes Ferreira[1], Mariana Bernardes da Silva Palma[1], Monalisa Felipe[1], Roberto Pizarro Sanches[1]

[1]Faculdade Ciências da Saúde (FCS) – Engenharia Biomédica,
Universidade do Vale do Paraíba (Univap), Av. Shishima Hifumi, 2911, Urbanova,
São José dos Campos – SP – Brasil, 12.244-000,
andresrs@superig.com.br, flopes@univap.br , mariana.palma@gmail.com,
monalisa@univap.br, beto_sanches2005@yahoo.com.br.

Palavras-chave: ventiladores mecânicos; calibração
Área do Conhecimento: III - Engenharias

RESUMO: A medição de vazão inclui no seu sentido mais amplo, a determinação da quantidade de líquidos, gases e sólidos que passa por um determinado local em uma unidade de tempo. A vazão de gases que caracteriza um ventilador pulmonar tem uma facilidade de erros muito grande e é indispensável sua calibração para não causar complicações na saúde do paciente. Porém, melhor do que calibrar um ventilador, é realizar sua manutenção preventiva, evitando gastos e perdas de aparelhos. Um ponto de suma importância quando se trata de ventilação mecânica, é que esse é usado para melhorar à saúde do paciente, mas com um aparelho descalibrado, os malefícios são bem maiores do que os benefícios que o aparelho pode transmitir.

Introdução

A medição de vazão inclui no seu sentido mais amplo, a determinação da quantidade de líquidos, gases e sólidos que passa por um determinado local em uma unidade de tempo; podem também ser incluídos os instrumentos que indicam a quantidade total movimentada, num intervalo de tempo. As unidades de medidas de vazão são:

- **m^3/s** - Metro cúbico por segundo (S.I.)
- **m^3/h** - Metro cúbico por hora
- **l/h** - Litro por hora
- **l/min** - Litro por minuto
- **ft^3/s** - Pé cúbico por segundo ($0,03m^3/s$)
- **gal/s** - Galão por segundo ($0,004m^3/s$)
- **gal/min** - Galão por min. ($0,00006m^3/s$)

No caso de gases e vapores, que é o objeto de estudo desse trabalho, voltado para a compreensão de todo o funcionamento, componentes, calibração e manutenção preventiva dos ventiladores mecânicos, a medição da vazão instantânea é essencial para a obtenção de medidas exatas e resultados precisos.

Este trabalho tem por objetivo o estudo do funcionamento de ventiladores mecânicos, seus componentes de medição de vazão, a calibração corretiva e a manutenção preventiva. Além das doenças decorrentes do uso de um ventilador mecânico descalibrado.

Materiais e Métodos

Funcionamento do ventilador

O primeiro passo é o entendimento de toda ventilação mecânica que tem como um dos principais objetivos aliviar total ou parcialmente o trabalho respiratório do paciente. Esse trabalho representa a energia necessária para movimentar determinado volume de gás através das vias aéreas e expandir o pulmão, permitindo que ocorra as trocas gasosas à nível alveolar. Após pesquisas bibliográficas e aulas práticas de funcionamento dos ventiladores mecânicos, com o aparelho modelo BIRD 8400STI, pode-se compreender os quatro modos básicos de ventilação. São eles:

1. Modo controlado;
2. Modo assistido;

3. Modo assistido-controlado;
4. Modo mandatário intermitente.

1. Ventilação controlada. Neste modo de ventilação não há participação do paciente, o aparelho determina todas as fases da ventilação. Este é o tipo de ventilação mais utilizado na anestesia. O início da inspiração é determinado de acordo com um critério de tempo, ou seja, de acordo com a freqüência respiratória regulada. Neste modo, geralmente a sensibilidade do aparelho está desligada. O volume corrente é determinado de acordo com o tipo de ciclagem escolhido.
O tempo expiratório (TE) é determinado por: TE = 60/f - TI
Sendo f a freqüência respiratória em ciclos por minuto e TI o tempo inspiratório em segundos.

Este modo permite o cálculo da complacência e da resistência pulmonar através dos valores obtidos com as curvas de pressão traqueal x tempo e fluxo x tempo, respectivamente. Estes valores são importantes principalmente na avaliação de pacientes com doença pulmonar grave, tanto na determinação dos parâmetros ventilatórios quanto no acompanhamento da evolução destes pacientes durante a internação na unidade de terapia intensiva e durante o processo de desmame do ventilador.
2. Ventilação Assistida. Neste modo de ventilação, o aparelho determina o início da inspiração por um critério de pressão ou fluxo, mas o ciclo só é iniciado com o esforço do paciente. Nas duas situações, o disparo é feito pelo esforço inspiratório do paciente que aciona o aparelho de acordo com a sensibilidade pré-determinada. Se o critério é de pressão, o aparelho detecta uma queda na pressão expiratória dentro do circuito.

E se o critério é de fluxo, o aparelho detecta uma pequena movimentação de ar em direção ao paciente dentro do circuito, permitindo o início de novo ciclo.

Na ventilação totalmente assistida, o tempo expiratório e, portanto, a freqüência respiratória, é determinado pelo *drive* respiratório do paciente. O volume corrente é determinado de acordo com a ciclagem escolhida.

3. Ventilação assistida-controlada. O modo assistido-controlado permite um mecanismo duplo de disparo fornecendo maior segurança para o paciente, pois o ciclo controlado entra sempre que o paciente não disparar o ciclo assistido.

Assim, há um mecanismo deflagrado a tempo que é o do aparelho e um mecanismo deflagrado a pressão que depende do esforço inspiratório do paciente. Por exemplo, se ajustarmos a freqüência do aparelho em 20 ciclos por minuto o aparelho inicia um ciclo a cada 3 segundos se o paciente não se manifestar, porém se o paciente estiver fazendo um ciclo a cada 1,5 segundos o aparelho fará 40 ciclos assistidos por minuto e nenhum controlado, a não ser que o comando freqüência respiratória seja ajustado para um valor maior que 40 ciclos por minuto. Assim, neste modo de ventilação preconiza-se utilizar freqüências respiratórias ligeiramente abaixo da freqüência espontânea do paciente para que os ciclos controlados sejam a exceção.

4. Ventilação mandatária intermitente. Neste tipo de ventilação há uma combinação de ventilação controlada e/ou assistida intercalada com ventilações espontâneas do paciente dentro do próprio circuito do aparelho, através de válvulas de demanda.

Os ciclos controlados ou assistidos são volumétricos, ou seja, garante um certo volume corrente para o paciente e podem ser desencadeados por tempo, nos quais o intervalo de tempo entre um ciclo e outro é constante independente se o paciente está inspirando ou expirando. Este modo de ventilação é denominado ventilação mandatória intermitente (IMV) e também pode ser utilizado na anestesia.

Os ciclos volumétricos também podem ser desencadeados por um mecanismo misto de pressão/tempo em que o aparelho não entra durante um período em que o paciente esteja expirando, ou seja, ele é sincronizado com a respiração do paciente e por isso recebe o nome de *ventilação mandatória intermitente sincronizada (SIMV)*, pode-se, portanto dizer que o ciclo do SIMV é assistido-controlado.

No SIMV, o ventilador mantém as janelas fixas, e permite apenas um ciclo assistido por janela, atendendo os demais

esforços inspiratórios com ciclos espontâneos. O ciclo controlado só ocorre após uma janela de ciclo controlado ou uma janela de apnéia.

A respiração espontânea do paciente feita dentro do circuito do aparelho pode ser auxiliada por alguns recursos do ventilador conhecidos como *CPAP* (pressão positiva contínua nas vias aéreas). O CPAP mantém uma pressão positiva durante todo o ciclo respiratório espontâneo do paciente. Neste tipo de ventilação, a freqüência respiratória e o volume corrente são totalmente dependentes do paciente. O CPAP mantém os alvéolos abertos durante todo o ciclo respiratório como medida de controle da hipoxemia arterial, Nesse modo de ventilação, o paciente respira espontaneamente em níveis pressóricos maiores.

- Componentes básicos do ventilador

Depois de compreender todo o funcionamento dos ventiladores mecânicos, partiu-se para o estudo de seus componentes básicos, incluindo os sensores de vazão. Para ser considerado um ventilador mecânico, este necessita no mínimo dos itens abaixo:

1. Alimentação: pode ser feita via rede elétrica e/ou bateria;
2. Válvulas reguladoras de pressão: são os elementos que fazem a regulação da pressão na entrada do ventilador, diminuindo a pressão nos galões de ar comprimido e oxigênio que serão entregues ao paciente;
3. Válvula de exalação ou expiratória: válvulas que permitem que o gás exalado pelo paciente saia para a atmosfera ou para outro circuito fechado;
4. Filtro de bactérias: é usado para elevar a qualidade do ar entregue ao paciente. Tem como objetivo evitar a contaminação bacteriológica do paciente;
5. Nebulizadores: são utilizados para administrar drogas pela via respiratória na forma de aerossol, como por exemplo, broncodilatadores.
6. Umidificadores: são acoplados à saída dos ventiladores, para acrescentar vapor d'água ao gás inspirado pelo paciente.
7. Misturadores: elementos acoplados à entrada de ar dos ventiladores, com a função de misturar adequadamente, os diferentes gases nas concentrações desejadas;
8. Controles: os circuitos de controle são responsáveis pela maneira com que o paciente será ventilado. Basicamente possuem os seguintes controles:

- Fluxo: ajusta o valor do pico de fluxo de ar a ser enviado pelo equipamento (l/min)
- pressão: ajusta o valor do PIP. Num sistema fechado, o gás é bombeado até o PIP ser atingido, e então é desligado, sendo que a válvula de exalação permanece fechada durante o tempo inspiratório. Se um vazamento causar um decréscimo no nível de pressão, o fluxo pode ser reiniciado até o PIP ajustado ser atingido. A unidade de pressão mais utilizada é centímetros de água (cmH2O);

- Volume: ajusta o volume de ar a ser enviado ao paciente, em mℓ;

- Freqüência respiratória: determina o número de ciclos de ventilação por minuto;

- Tempo de inspiração: determina o tempo de inspiração, em segundos;

- Tempo de expiração: determina o tempo de expiração, em segundos;

- Pausa inspiratória: determinada em unidade de tempo (s) ou em percentual do tempo expiratório. Fecha as válvulas de inspiração e de expiração, fazendo com que o fluxo seja nulo;

- Sensibilidade: determina o nível de esforço que o paciente deve fazer para disparar um ciclo respiratório. O ventilador pode ser sensível ao nível de pressão (cmH2O) ou a um fluxo (ℓ/min.);

- Calibração do ventilador mecânico

Como regra geral, um hospital que possui a maioria de seus equipamentos de um mesmo modelo, ou ao menos de um só fabricante, tende a minimizar os custos com manutenção e o tempo de treinamento de pessoal. Nesta situação compensa manter em estoque placas e peças para reposição em manutenções corretivas. Na falta de um equipe treinada para o serviço, recorre-se, em caso de calibração de um

equipamento danificado, à empresas terceirizadas que realizam o serviço.

Os maiores problemas detectados na rotina de um hospital são:

- Problemas na diferença da medida do volume inspirado e o volume exalado detectados no sensor de fluxo expiratório:

Como ocorre: É programada uma medida de volume para ser inspirado, porém, as vezes pode ocorrer uma diferença de até 25% comparado com o volume exalado detectado no sensor de fluxo expiratório. Isto é prejudicial ao paciente que acumula um certo volume de ar nos pulmões modificando sua pressão e causando doenças respiratórias.

- Pressão positiva expiratória final (PEEP) medida pelo manômetro diferente da medida programada no *display:*

Como ocorre: É programado uma certa pressão que deve constar no final do ciclo respiratório (PEEP), entretanto o manômetro quando se encontra descalibrado, acusa uma pressão diferente à pressão do pulmão do paciente.

- Blender programado em uma medida, libera uma concentração de oxigênio diferente da programada:

Como ocorre: O blender é responsável pela mistura dos gases que farão o processo da respiração, nele se programa a concentração de ar comprimido e oxigênio que irão para o paciente. A falta de exatidão desse dispositivo provoca a entrada de uma diferente quantidade de gases.

A detecção desses problemas são feitas durante a manutenção corretiva, e caso se encontre algum erro, deve-se realizar a calibração do ventilador.

A empresa *System Product* disponibiliza um analisador de fluxo de gás, o "VT Plus", projetado para facilitar os testes e pesquisar defeitos da nova geração dos ventiladores. É compatível com os ventiladores que utilizam o fluxo, o PEEP e o CPAP. O preço do produto é de $17.000,00. Dentre diversos parâmetros testados pelo VT Plus, é relevante citar os de importância para a resolução dos problemas explicados anteriormente. São eles:

- Teste de Fluxo: É medido o fluxo de entrada e saída, avaliando a margem de erro que ocasionalmente pode ocorrer. Detectado uma diferença no valor acusado pela válvula de fluxo expiratório, esta deve ser substituída.
- Teste de pressão: Mede o valor do PEEP para avaliar a exatidão do manômetro, que quando acusa uma medida diferente, é necessário sua troca.
- Teste de oxigênio: Monitora a concentração de oxigênio, dentro da escala de 0 a 100%, e realiza a calibração do blender.

Resultados

Mais vantajoso que consertar possíveis problemas nos ventiladores mecânicos, detectados na manutenção corretiva, é constantemente verificar seus parâmetros na manutenção preventiva. O roteiro de manutenção inclui:

1. Diariamente: verificar todos os filtros antibactéria (ar e oxigênio) do circuito do paciente; checar e limpar o circuito de gás exalado, filtros e coletores de água.
2. A cada 250 horas: limpar o filtro do compartimento de resfriamento do compressor.
3. A cada 2.500 horas: realizar calibração do ventilador inteiro com o kit de manutenção preventiva.
4. A cada 10.000 horas ou anualmente: realizar calibração do ventilador inteiro com o kit de manutenção preventiva; substituir todos os filtros de bactérias reutilizáveis do sistema.

As partes eletrônicas são as que demandam menos manutenção. Porém não estão isentas de problemas, e devem também receber a manutenção preventiva. A seguir são listados alguns procedimentos mínimos de verificação operacional de ventiladores:

1. Alarme de perda de bateria: com o equipamento ligado (mas não em uso no paciente), desconecte momentaneamente e reconecte a fonte de energia. A bateria de reserva e os alarmes de desconexão devem funcionar adequadamente.
2. Alarmes visual e audível: desconecte as entradas de oxigênio e de ar separadamente para verificar os alarmes correspondentes. Usando um

pulmão de teste fazer a checagem dos alarmes de pressão baixa, volume exalado baixo e de apnéia (desconectando momentaneamente o circuito); checar o alarme de pressão alta (ocluindo o circuito) e o de relação I:E (criando uma situação de razão inversa).

3. Pressão proximal nas vias aéreas e PEEP: selecionar o nível de PEEP desejado e ciclar o ventilador num pulmão de teste. O manômetro deve ciclar e retornar para a linha de base apropriada. Desconectar momentaneamente o ramo inspiratório do circuito e checar o "zero" do manômetro (+/- 1 cmH 2 O).
4. Freqüência de ventilação entregue e medida: contar o número de inspirações que ocorrem num intervalo cronometrado. A diferença entre os valores obtidos, programado e mostrado no "*display*" (se houver) deve ser no máximo +/- 1 respiração por minuto.
5. Sensibilidade: colocar o ventilador no modo assistido. Apertar e soltar o pulmão de teste: deve ocorrer uma inspiração quando a pressão cair abaixo do nível se sensibilidade escolhido.
6. Nebulizador: ligar o nebulizador e verificar se existe fluxo na saída do mesmo a cada ciclo inspiratório. Quando estiver sendo usado no paciente, verificar se o volume de solução restante é adequado para as taxas de ventilação e I:E (inspiratória e expiratória) estabelecidas.
7. Umidificador: medir periodicamente a temperatura e a vazão da água para o umidificador, durante a ventilação, para verificar se está adequada.

DISCUSSÕES

Os ventiladores pulmonares são equipamentos de suporte à vida e necessitam de constante manutenção. Seja ela corretiva ou preventiva, são de suma importância para proporcionar maior segurança ao paciente assistido.

Um aparelho descalibrado pode acarretar o aparecimento de doenças no paciente. Temos como exemplo:

- Pneumonia: a pneumonia associada à ventilação é o problema mais comum no uso de ventiladores de cuidado intensivo. É desencadeada por um edema inicial que eleva a umidade do pulmão. Pode ocorrer devido a falha no sistema de umidificação, insuficiência cardíaca e renal (baixa diurese).

- Intoxicação por oxigênio: ocorre se o nível de oxigênio for superior a 21% por um período prolongado, ou por níveis maiores em períodos menores. A administração de oxigênio em concentrações iguais ou maiores que 60% por mais de 48 horas causa dispnéia progressiva, tosse, dor retroesternal, diminuição da complacência pulmonar.

- Barotrauma pulmonar: os altos picos de pressão gerados pela ventilação mecânica podem contribuir para a indução de alterações cardiovasculares e respiratórias. A ocorrência de barotrauma é mais comum em pacientes submetidos a ventilação por pressão positiva contínua. É caracterizada por pneumotórax (ruptura dos alvéolos e até pelo vazamento de ar pelos bronquíolos), o que pode acarretar um quadro de enfisema insterticial, com o aumento da resistência das vias aéreas e menor eficiência dos músculos respiratórios.

CONCLUSÃO

O ventilador mecânico é um equipamento de suma importância em um ambiente hospitalar. Por possuir uma facilidade de erros enorme, é indispensável sua manutenção. No caso da manutenção corretiva, onde realiza-se a calibração do ventilador, foi encontrado um analisador de fluxo de gás que auxilia na resolução dos problemas mais freqüentes na rotina de um hospital. Porém, temos também a possibilidade de realizar uma manutenção preventiva, evitando aplicar aparelhos descalibrados nos pacientes que chegam a provocar doenças.

BIBLIOGRAFIA

1. www.inmetro.gov.br/laboratorios/servicos/calibraçao
   acesso: 13/03/05
2. www.mhe.com.br/funcionamentoventiladores
   acesso: 15/03/05
3. www.ciasey.com.br/contatos

acesso: 21/03/05
4. http://www.formedical.com.br/index.php?mod=biotek_9
acesso: 07/05/05
5. STOCK, M. Christine *Manual de Suporte Ventilatório Mecânico*, São Paulo: Editora Manole, 1999
6. BONASSA, Jorge *Apostila de Princípios Básicos de Ventiladores Artificiais*
7. SERVICE, General Biomedical, *BIRD 8400STI – Manual de Instruções*
8. us.fluke.com/usen/products/category.htm?category=FB
acesso: 15/05/05